

Method and device for manufacturing single crystals

Patent Number: ☐ US6036776
Publication date: 2000-03-14
Inventor(s): SHIMANUKI YOSHIYUKI (JP); KAMOGAWA MAKOTO (JP); KOTOOKA TOSHIRO (JP)
Applicant(s): KOMATSU DENSHI KINZOKU KK (JP)
Requested Patent: ☐ JP11092272
Application Number: US19980145083 19980901
Priority Number(s): JP19970275097 19970922
IPC Classification: C30B35/00
EC Classification: C30B15/14
Equivalents: TW482831

Abstract

This invention provides a single-crystal manufacturing device which can perform the lifting of single crystals at a high speed, allowing single crystals with uniform qualities along their axes can be obtained. The method for manufacturing single crystals according to this invention are achieved by using a single-crystal manufacturing device provided with a combination of a heat shield plate 1 and an after-cooler 21. The heat shield plate 1, the thickness of the lower portion of which is 2-6 times that of a conventional heat shield plate, surrounds the single crystal 7 being lifted. The after-cooler 21 covers the top surface of the rim 1a of the heat shield plate 1 and encompasses the single crystal 7 being lifted. The amount of cooling water supplied to the after-cooler 21 is slowly increased until the time the single crystal is lifted to a preset length, and then the amount of cooling water is kept constant. By this means, the temperature gradients of the single crystal in the region near the solid-liquid boundary can be increased, and the shape of the single crystal lifted can be easily kept unchanged. Furthermore, the lifting speed of the single crystal is kept constant from the top to the bottom of the crystal. Compared with conventional methods, the single-crystal lifting speed can be multiplied by a value of 1.3-2.2. Therefore, single crystals with uniform qualities along their axes can be obtained.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-92272

(43)公開日 平成11年(1999)4月6日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

F I

C 3 0 B 15/00

C 3 0 B 15/00

Z

// C 3 0 B 29/06

5 0 2

29/06

5 0 2 C

5 0 2 E

H 0 1 L 21/208

H 0 1 L 21/208

P

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平9-275097

(22)出願日 平成9年(1997)9月22日

(71)出願人 000184713

コマツ電子金属株式会社

神奈川県平塚市四之宮2612番地

(72)発明者 琴岡 敏朗

神奈川県平塚市四之宮2612 コマツ電子金
属株式会社内

(72)発明者 島貫 芳行

神奈川県平塚市四之宮2612 コマツ電子金
属株式会社内

(72)発明者 鴨川 誠

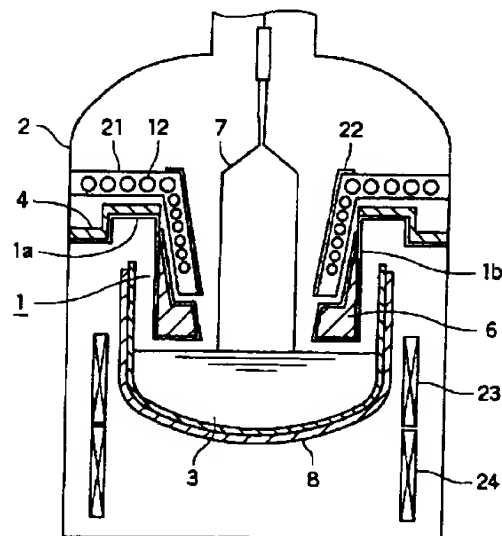
神奈川県平塚市四之宮2612 コマツ電子金
属株式会社内

(54)【発明の名称】 単結晶製造装置および単結晶の製造方法

(57)【要約】

【課題】 C Z法による単結晶の製造において、単結晶の高速引き上げが可能で、かつ、軸方向における品質が均一な単結晶が得られるようにする。

【解決手段】 本発明による単結晶製造装置および製造方法の1例として、育成中の単結晶7を取り囲み、下部の厚さを従来の熱遮蔽板の2～6倍程度とした熱遮蔽板1と、熱遮蔽板1のリム1aを覆うとともに単結晶7を取り囲むアフタクーラ21とを組み合わせた単結晶製造装置を用いる。アフタクーラ21に供給する冷却水量を単結晶の育成長さに応じて徐々に増加させ、単結晶の長さが所定寸法に到達した後は一定に保つ。これにより固液界面近傍の結晶温度勾配が大きくなり、単結晶の形状が安定しやすくなるとともに、引き上げ速度を結晶のトップからボトムまで一定にすることができる。単結晶引き上げ速度は従来に比べて1.3～2.2倍に増加し、軸方向の品質が均一な単結晶が得られる。



21:アフタクーラ
22:加熱シート

23:上部ヒータ
24:下部ヒータ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 CZ法による単結晶製造装置において、ホットゾーンの上方を環状に覆うリムと、前記リムの内縁部から垂下して単結晶を取り囲み、下部の厚さを従来の熱遮蔽板の厚さの2～6倍程度とした断熱筒とからなる熱遮蔽板を備え、育成中の単結晶の外周と融液面との交点と熱遮蔽板の下端とを結ぶ直線より下側にヒータ上端の位置を設定したことを特徴とする単結晶製造装置。

【請求項2】 熱遮蔽板のリム上面を覆うとともに、断熱筒の内側にあって育成中の単結晶を取り囲むアフタクーラを設けたことを特徴とする請求項1記載の単結晶製造装置。

【請求項3】 ヒータ長を原料溶解時のるつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に延長するとともに発熱中心を前記るつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に移動させたヒータ、またはヒータ長を原料溶解時のるつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に延長し、上下2段に分割したヒータを設けたことを特徴とする請求項2記載の単結晶製造装置。

【請求項4】 育成中の単結晶を取り囲むアフタクーラを昇降自在に設けたことを特徴とする請求項1記載の単結晶製造装置。

【請求項5】 育成中の単結晶を取り囲むアフタヒータを昇降自在に設けたことを特徴とする請求項3記載の単結晶製造装置。

【請求項6】 アフタクーラを備えた単結晶製造装置による単結晶の製造において、アフタクーラに供給する冷却水量を、少なくとも単結晶が所定の長さに成長するまでは一定の割合で徐々に増加させることを特徴とする単結晶の製造方法。

【請求項7】 上下2段に分割したヒータを備えた単結晶製造装置による単結晶の製造において、原料溶解時には下側ヒータの出力に対して上側ヒータの出力を20～50%に制御し、単結晶育成時には下側ヒータの出力を上側ヒータの出力の20～50%の範囲内で一定に保ちつつ上側ヒータの出力で結晶育成の制御を行うことを特徴とする単結晶の製造方法。

【請求項8】 請求項5記載の単結晶製造装置を用いる単結晶の製造において、育成中の単結晶の600～700℃の温度領域をアフタヒータの作動により徐冷することを特徴とする単結晶の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、CZ法による単結晶製造装置および単結晶の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子の基板には主として高純度の単結晶シリコンが使用されているが、その製造方法として、一般にCZ法が用いられている。CZ法による単結晶製造装置では、図8に示すようにチャンバ2の中心に

るつぼ8が昇降自在に設置されている。るつぼ8は、黒鉛るつぼ8aの中に石英るつぼ8bを収容したもので、石英るつぼ8bに塊状の多結晶シリコンを装填し、前記るつぼ8を取り囲むように設けられた円筒状のヒータ5によって原料を加熱溶解して融液3とする。そして、シードホルダ9に取り付けた種結晶を融液3に浸漬し、シードホルダ9およびるつぼ8を互いに同方向または逆方向に回転しつつシードホルダ9を引き上げて単結晶7を所定の直径および長さに成長させる。

【0003】融液3の上方には、ホットゾーンの上方を環状に覆うリム10aと、リム10aの内縁部に接続する断熱筒10bとによって構成された熱遮蔽板10が設置されている。前記断熱筒10bは引き上げ中の単結晶7を取り囲む逆円錐状の筒で、炭素繊維からなる断熱材6を内蔵している。また、前記リム10aの外縁部には断熱材4が設置されている。熱遮蔽板10は、単結晶7に対する融液3の表面やヒータ5からの輻射熱を遮断する機能を有し、特に固液界面近傍における単結晶7の半径方向ならびに軸方向の温度勾配を大きくして単結晶7の冷却を促進することにより、引き上げ速度の向上を図っている。また、熱遮蔽板10は、チャンバ2の上方から導入される不活性ガスを単結晶7の周囲に誘導し、融液3から蒸発するSiO、SiO₂、Siやるつぼ8から発生する金属蒸気等、単結晶化を阻害するガスを排出して無転位結晶化率を向上させる機能を備えている。

【0004】上記の他に、融液の近傍まで延伸する円筒状の熱遮蔽板をチャンバの天井部に設置した単結晶製造装置も使用されている。この熱遮蔽板は、チャンバの上方から導入される不活性ガスの流れを制御するとともにヒータ、融液等からの輻射熱を遮断し、引き上げ中の単結晶における固液界面近傍の温度勾配を大きくし、またその他の温度領域では、冷却または保温に働く。これにより単結晶化が容易になり、単結晶の生産性が向上する。あるいは、特開平8-239291号公報で開示されている単結晶製造装置のように、単結晶を取り巻く冷却管を設け、この冷却管に冷却液を流通させて強制的に単結晶の温度勾配を大きくして引き上げ速度の向上を図っているものもある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の熱遮蔽板ではヒータや融液からの輻射熱を遮断する能力が不十分なため、次の問題が発生する。

(1)従来の熱遮蔽板を用いて融液およびヒータからの輻射熱を遮断するだけでは、結晶長によって変化する単結晶の軸方向温度勾配の変化に対応することができず、引き上げ速度は単結晶のトップ側からボトム側にかけて徐々に遅くなり、生産性が低下する。

(2)引き上げ速度が変化すると、単結晶の各位置における各温度帯での熱履歴が異なってくるため、grown-in欠陥、酸素析出量等に影響を及ぼし、結晶の長

手方向に対して品質が均一な単結晶を得ることができない。

【0009】本発明に係る単結晶製造装置では、冷却管による冷却面積が小さいため、十分な冷却効果が得られない。

【0010】本発明に係る単結晶製造装置では、原料溶解時にるつぼを上昇させることが不可能のため、るつぼ底部の原料を効率良く溶解することができない。

【0011】本発明は上記従来の問題点に着目してなされたもので、固液界面近傍における単結晶の温度勾配を大きくして従来よりも高速で単結晶を引き上げることができるようにするとともに、引き上げ速度を単結晶のトップからボトムまで一定に保ち、かつ、単結晶の各位置における熱履歴を同一にして軸方向における品質が均一な単結晶が得られる製造装置および単結晶の製造方法を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る単結晶製造装置の第1は、CZ法による単結晶製造装置において、ホットゾーンの上方を環状に覆うリムと、前記リムの内縁部から垂下して単結晶を取り囲み、下部の厚さを従来の熱遮蔽板の厚さの2～6倍程度とした断熱筒とからなる熱遮蔽板を備え、育成中の単結晶の外周と融液面との交点と熱遮蔽板の下端とを結ぶ直線より下側にヒータ上端の位置を設定したことを特徴とする。本発明による単結晶製造装置の第1は、上下で厚さが異なる熱遮蔽板を設置するという簡単な構造により、引き上げ単結晶の温度勾配を制御しようとするものである。単結晶の高速引き上げを行う場合に最も重要な要素は、固液界面近傍における単結晶の軸方向温度勾配である。軸方向温度勾配と引き上げ速度とは正相関の関係にあり、軸方向温度勾配を大きくすることにより引き上げ速度を上げることができる。ただし、軸方向温度勾配に対して引き上げ速度を上げ過ぎると、単結晶の変形およびハンチング等が発生し、径細不良や面内不良等の問題を起す。上記構成のように熱遮蔽板の下部厚さを従来の熱遮蔽板の厚さの2～6倍程度に厚くすると、輻射熱の断熱性が一段と向上して引き上げ中の単結晶が急冷され、固液界面近傍の結晶温度勾配が大きくなり単結晶の形状が安定しやすくなる。これにより、引き上げ難易度が改善されるとともに、引き上げ速度を結晶のトップからボトムまで一定にすることができる。

【0013】固液界面近傍における単結晶の軸方向温度勾配は、融液およびヒータからの輻射熱が大きく影響していることがわかっている。従って、融液およびヒータからの輻射熱をできるだけ遮断することにより、前記軸方向温度勾配を大きくすることができ、引き上げ速度を上げることができる。本発明ではヒータからの輻射熱を防ぐことを目的として、図1に示すようにヒータ上端の位置を、単結晶の外周と融液面との交点と熱遮蔽板の下

端とを結ぶ直線より下側に設定したので、単結晶に対するヒータからの輻射熱を最小限に抑えることができる。

【0014】本発明に係る単結晶製造装置の第2は、上記第1の単結晶製造装置において、熱遮蔽板のリム上面を覆うとともに、断熱筒の内側にあって育成中の単結晶を取り囲むアフタクーラを設けたことを特徴とする。上記のようなアフタクーラを設けることにより、チャンバ上部空間および引き上げ中の単結晶が効果的に冷却される。従って、結晶長の増加による単結晶の軸方向温度勾配を常に一定に保つことができる。

【0015】本発明に係る単結晶製造装置の第3は、上記第2の単結晶製造装置において、ヒータ長を原料溶解時のるつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に延長するとともに発熱中心を前記るつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に移動させたヒータ、またはヒータ長を原料溶解時のるつぼ上昇量に相当する長さだけ下方に延長し、上下2段に分割したヒータを設けたことを特徴とする。図2、図5、図7に示す単結晶製造装置ではアフタクーラが固定式になっているので、熱遮蔽板を昇降させることができない。従って、原料溶解の初期にるつぼを上昇させてるつぼ底部の原料から先に加熱溶解することが困難で、従来のヒータでは原料の上部が先に溶解するため、原料の溶け残りや液はね等が発生しやすく、単結晶化率を著しく阻害する。本発明では、図2に示すように原料溶解の初期におけるるつぼの上昇分だけヒータを下方に延長し、ヒータの発熱中心を前記上昇分だけ下方にずらすか、または図5、図7に示すようにヒータを下方に延長した上、上下2段に分割したヒータを設けることにより前記問題を解決することができる。

【0016】本発明に係る単結晶の製造装置の第4は、上記第1の単結晶製造装置において、育成中の単結晶を取り囲むアフタクーラを昇降自在に設けたことを特徴とする。アフタクーラを昇降自在に設置すれば、原料溶解時に熱遮蔽板とともにチャンバの上部に退避させることができ、従来通りの長さのヒータを用いて従来通りのるつぼ位置での原料溶解が可能となる。

【0017】本発明に係る単結晶の製造装置の第5は、上記第3の単結晶製造装置において、育成中の単結晶を取り囲むアフタヒータを昇降自在に設けたことを特徴とする。アフタヒータは引き上げ中の単結晶の任意の部位を被覆し、その部位からの熱放散を阻止することによって単結晶を徐冷する。そして、単結晶における600～700℃の領域の温度勾配を小さくすることにより、酸素析出量の制御が可能となる。また、原料溶解時に熱遮蔽板とともにチャンバの上部に退避させれば、従来通りの長さのヒータを用いて従来通りのるつぼ位置で原料を溶解することができる。

【0018】本発明に係る単結晶の製造方法の第1は、アフタクーラを備えた単結晶製造装置による単結晶の製造において、アフタクーラに供給する冷却水量を、少な

くとも単結晶が所定の長さに成長するまでは一定の割合で徐々に増加させることを特徴とする。結晶長が短い時は単結晶の軸方向温度勾配が非常に大きいので、引き上げ速度を速くすることができるが、結晶長が長くなるにつれて徐々に温度勾配が小さくなるので、引き上げ速度は単結晶のトップからボトムにかけて徐々に遅くなる。本発明では単結晶の育成成長に応じてアフタクーラの冷却水量を制御することにしたので、前記問題点を解消することができる。

【0014】本発明に係る単結晶の製造方法の第2は、上下2段に分割したヒータを備えた単結晶製造装置による単結晶の製造において、原料溶解時には下側ヒータの出力に対して上側ヒータの出力を20～50%に制御し、単結晶育成時には下側ヒータの出力を上側ヒータの出力の20～50%の範囲内で一定に保ちつつ上側ヒータの出力で結晶育成の制御を行うことを特徴とする。図5、図7に示す2分割ヒータを用いる場合、原料溶解時には主として下側ヒータの出力によりつば底部の原料から先に溶解することができる。また、原料溶解後は上下ヒータの出力割合を原料溶解時と逆にすることにより、単結晶育成時の融液温度を正常に制御することができる。

【0015】本発明に係る単結晶の製造方法の第3は、アフタヒータを備えた単結晶製造装置による単結晶の製造において、育成中の単結晶の600～700℃の温度領域をアフタヒータの作動により徐冷することを特徴とする。育成中の単結晶の温度勾配は、アフタクーラの冷却水流量および設置位置により大きく変化する。アフタクーラの下端位置が融液面から遠ざかるにつれて600～700℃の温度領域における温度勾配が大きくなり、アフタクーラの下端位置が融液面に近づくとき前記温度勾配が従来のホットゾーンよりも小さくなることもある。そして、熱遮蔽板とアフタクーラとを併用すると、単結晶の温度勾配が全体的に大きくなり、図8に示した従来の単結晶製造装置使用時に比べて600～700℃の温度領域における温度勾配が0.8～1.6倍程度に変化する。そこで、600～700℃の温度領域における温度勾配が大きいときにアフタクーラの上にアフタヒータを設けて強制加熱すれば、前記温度領域における温度勾配が小さくなり、単結晶中の酸素析出量を制御することができる。

【0016】

【発明の実施の形態および実施例】次に、本発明に係る単結晶の製造方法およびその装置の実施例について図面を参照して説明する。図1は第1実施例の単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。同図において、熱遮蔽板1は、ホットゾーンの上方を環状に覆うリム1aと、リム1aの内縁部から垂下する断熱筒1bとによって構成され、チャンバ2の外部上方に設置された図示しない昇降機構からワイヤ等を用いて融液3の上方

に吊り下げられている。前記熱遮蔽板1は黒鉛材または耐熱金属を成形してなり、リム1aの外縁部上面には炭素繊維からなる断熱材4が設置されている。また、断熱筒1bの外側は円筒面、内側は1つの水平な段付き部を有する変形テーパ穴で、下端開口部が上端開口部より小径である。この断熱筒1bは、融液3およびヒータ5からの輻射熱を遮断するために下端部の厚さが従来の熱遮蔽板(図8参照)に比べて2～6倍程度厚くなっている。熱遮蔽板1の下端開口部直径を、不活性ガス流を乱さない程度に小さくすれば、単結晶7の軸方向温度勾配を更に大きくすることができる。

【0017】ヒータ5の上端は、育成中の単結晶7の外周と融液3との交点O1と熱遮蔽板1の下端とを結ぶ直線Aよりも下側に、望ましくは育成中の単結晶7の中心線と融液3との交点O2と熱遮蔽板1の下端とを結ぶ直線Bよりも下側に位置するように設置されている。

【0018】上記第1実施例の単結晶製造装置を用いる場合の単結晶製造方法について説明する。るつば8に装填した原料を溶解する場合、原料との干渉を避けるため熱遮蔽板1を上昇させてチャンバ2の上部に退避させ、るつば8の上端をヒータ5の上端よりも20～50mm程度上昇させて、るつば底部にある原料から溶解する。原料を溶解したら熱遮蔽板1を下降させ、融液3と熱遮蔽板1の下面との距離を所定の寸法に保つ。単結晶7への融液3からの輻射熱を低減させるには、熱遮蔽板1の下面と融液3の表面との間隔を可能な限り小さくすることが望ましいが、単結晶化率に影響すると考えられている不活性ガスの流れを乱さないようにするため、前記間隔を少なくとも10mm以上に保つ必要がある。そして、種結晶を融液3に浸漬し、熱衝撃により種結晶に発生した転位をダッシュ法によりネック部外周面に逃がした後、徐々に直径を拡大して肩部を形成し、引き続き直胴部形成工程に移行する。

【0019】図2は第2実施例の単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。この単結晶製造装置は第1実施例の単結晶製造装置にアフタクーラを追加したもので、アフタクーラ11は熱遮蔽板1の上面および内面のほぼ上半分を覆うように設置されている。アフタクーラ11は耐熱金属製容器内に冷却水配管12を収容したもので、単結晶7を取り巻く円筒状の内壁面には吸熱シート13が貼着されている。吸熱シート13は不可欠のものではないが、冷却効率を上げることができる。また、アフタクーラ11はチャンバ2内に固定されているため、熱遮蔽板1も上昇できない。従って、原料溶解時には原料と熱遮蔽板1との干渉を避けるため、るつば8を下降させる必要があり、原料溶解は従来よりも低い位置で行わなければならない。そこで、本実施例の単結晶製造装置では、原料溶解を円滑に行うことができるようにヒータ5の軸方向長さを従来よりも30～100mm

m程度長くし、発熱中心もその分だけ下方に移動させている。

【0020】アフタクーラ11は、単結晶7が通過するチャンバ中心部を除く周辺部分を覆っているため、単結晶7のみならずホットゾーン上部もかなり冷却される。そのため、融液3から発生する SiO 、 SiO_2 、 Si 等が熱遮蔽板1のリム1aの下面に付着しやすくなる。これらが融液3に落下して単結晶7に付着すると単結晶の育成を阻害するので、アフタクーラ11の直下にあるリム1aの上面には全面にわたって炭素繊維からなる断熱材4が設置され、リム1a下面の冷却を防止している。

【0021】図3は、上記アフタクーラ11に使用する冷却水配管12の説明図で、(a)は第1実施例、(b)は第2実施例、(c)は第3実施例を示す。また、(d)は比較のために示した従来から一般的に用いられている冷却水配管の説明図である。なお、アフタクーラ11の冷却水配管は、各図に示した配管の上部に水平面内で螺旋状に巻かれた配管を接続したものであるが、この部分の記載は省略した。

【0022】図3(d)に示した従来タイプの冷却水配管14は、螺旋状に巻いた管の入側から冷却水が供給され、矢印の方向に流れた冷却水は配管下部から螺旋状に上昇して出側から排出される。このような構造の冷却水配管ではホットゾーンにおける半径方向の温度勾配が水平面内で異なってしまうため、単結晶育成中に異常成長を引き起こすという問題があった。これに対し、図3(a)に示した冷却水配管12は2つ折りにした管を螺旋状に巻いたもので、冷却水は同図に矢印で示した方向に流れる。図3(b)はジャケットタイプのアフタクーラの断面を示し、冷却水は仕切り板15の間を図3(a)の場合と同様に流れる。すなわち、入側から流入した冷却水は図中の○印の箇所を順次流れて底部に達し、次に×印の箇所を順次上昇して出側から排出される。また、図3(c)に示した冷却水配管12は2本の管12a、12bを螺旋状に巻いたもので、冷却水の入側、出側は各2箇所設けられている。管12aに供給された冷却水は実線の矢印で示した方向に流れ、管12bに供給された冷却水は点線の矢印で示した方向に流れる。図3(a)、(b)、(c)に示す構成とすれば、冷却水はアフタクーラの中心に対して軸対称に流れるため、ホットゾーンにおける単結晶の半径方向の温度勾配を面内で安定させることができ、単結晶育成中の異常成長を抑制することができる。なお、図3(c)に示した冷却水配管の代わりに3本の管を螺旋状に巻き、冷却水の入側、出側をそれぞれ120°ピッチで3箇所設けてもよい。

【0023】上記第2実施例の単結晶製造装置を用いる場合、アフタクーラの流量は次のように制御する。冷却水配管12に供給する冷却水量は肩部形成終了まで一定

とし、直胴部形成工程に移行したら図4に実線で示すように徐々に増加させ、結晶長が所定値に到達したら流量の増加を停止する。単結晶温度の測定結果によれば、結晶長がある程度長くなると、その後の温度勾配はほとんど変化しないため、本実施例では結晶長が300~400mmに達するまでの間は冷却水量を漸増させ、その後は一定に維持した(図中のA)。あるいは、図4に点線で示すように流量増加を継続してもよい(図中のB)。なお、従来方法では図4に鎖線で示したように、冷却水量が常に一定である。

【0024】図5は第3実施例の単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。この単結晶製造装置は、図1に示した熱遮蔽板と同一の熱遮蔽板1を備え、その上方にアフタクーラ21が設置されている。アフタクーラ21の、単結晶7を取り巻く部分は、固液界面に発生するメニスカスリングを光学式直径制御装置で確認しやすくなるため、上端開口部を下端開口部より大きくした逆円錐状になっており、この逆円錐状の筒に熱遮蔽板1の上面すなわちリム1aを覆う環状部分が接続している。また、逆円錐状の筒の内面には吸熱シート22が貼着されている。アフタクーラ21の内部構造は図3(a)~(c)のいずれでもよい。前記リム1aの上面には、図2に示した第2実施例の単結晶製造装置と同様に炭素繊維からなる断熱材4が設置されている。ヒータは上下2段に分割され、上側ヒータ23、下側ヒータ24を備えている。

【0025】図5に示した第3実施例の単結晶製造装置の場合も、アフタクーラ21はチャンバ2内に固定されていて昇降できないため、原料溶解時にはるつぽ8を下降させて原料と熱遮蔽板1との干渉を避ける必要がある。本実施例の単結晶製造装置では、原料溶解を主として下側ヒータ24で行い、上側ヒータ23の出力を下側ヒータ24出力の20~50%に制御し、下降させるるつぽ8に装填されている原料がるつぽ底部から順次、確実に溶解されるようにする。原料の溶解後、融液3の表面温度を一定に保ちながら融液3の表面が所定の位置に到達するようにるつぽ8の位置を調整し、上側ヒータ23の出力に対して下側ヒータ24の出力を20~50%に制御する。また、単結晶引き上げ時には、下側ヒータ24の出力を一定に保ちながら上側ヒータ23の出力で結晶育成の制御を行う。

【0026】図6は第4実施例の単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。この単結晶製造装置では、図1に示した第1実施例の単結晶製造装置に使用されている熱遮蔽板1の断熱筒1bの内側に、アフタクーラ31が昇降自在に取り付けられている。前記アフタクーラ31は、単結晶7を取り巻く円筒部に螺旋状の冷却水配管12を内蔵し、チャンバ2の外部に設けられた昇降機構32により単結晶7の中心線に沿って昇降することができる。また、熱遮蔽板1のリム1a上面には炭

素繊維からなる断熱材4が設置されている。なお、この単結晶製造装置の場合はアフタクーラ31とともに熱遮蔽板1も昇降可能としているので、原料溶解時にはアフタクーラ31と熱遮蔽板1とを上方に退避させ、更に、るつば底部の原料が先に溶解するようになるつば8を上昇させることができる。従って、ヒータ5の軸方向長さは従来通りでよい。

【0027】単結晶の軸方向温度勾配は、アフタクーラに供給する冷却水流量に比例して大きくなるが、アフタクーラの下端を融液面に近づけることによっても大きくなる傾向にある。第4実施例の単結晶製造装置を用いる場合は、アフタクーラ31の冷却水流量制御とともに融液面からの位置を制御して、軸方向温度勾配が所望の値になるようにする。

【0028】図7は第5実施例の単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図で、この単結晶製造装置は図5に示した第3実施例の単結晶製造装置にアフタヒータを追加したものである。アフタヒータ41の発熱部は円筒状で、チャンバ2の外部に設けられた昇降機構42により単結晶7の中心線に沿って昇降することができる。

製造装置	図 1	図 2	図 5	図 6	図 7	図 8
引き上げ速度	1.1 ～ 1.4	1.3 ～ 2.5	1.3 ～ 2.2	1.1 ～ 2.2	1.3 ～ 2.2	1.0

【0032】図1に示した第1実施例の単結晶製造装置は本発明による熱遮蔽板のみで単結晶を冷却するため、引き上げ速度は従来に比べて1.1～1.4倍の増加であるが、熱遮蔽板とアフタクーラとを併用する第2～第5実施例（図2および図5～図7参照）では1.1～2.5倍に増加した。

【0033】図2または図5、図7に示した単結晶製造装置において、熱遮蔽板1の上面および内面のほぼ上半分を覆う固定式のアフタクーラ11または21に代えて、熱遮蔽板1の上面を覆う環状のアフタクーラと、単結晶7を取り囲み伝熱性の高い材料からなる円筒状または円錐状の伝熱筒とを組み合わせたものを用いてもよい。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、固液界面近傍における輻射熱の断熱性を特に高めた熱遮蔽板を用い、あるいは前記熱遮蔽板とアフタクーラ、アフタヒータとを組み合わせることで、固液界面近傍における単結晶の温度勾配が大きくなり、従来よりも高速で単結晶を引き上げることができる。また、引き上げ速度を単結晶のトップからボトムまで一定に保つことにより単結晶の各位置における熱履歴が同一になり、軸方向における品質が均一な単結晶が得られる。

【図面の簡単な説明】

またこの単結晶製造装置は、アフタヒータ41の出力を結晶長に応じて順次変化させる制御機能を備えている。

【0029】原料溶解時にはアフタヒータ41をチャンバ2内上部に退避させておき、溶解完了後、アフタヒータ41に所定の電力を供給しつつ下降させる。単結晶7の引き上げ開始時にはアフタヒータ41を融液3に最も近づけ、結晶長が長くなるにつれて徐々に上昇させ、結晶長が300～400mmに達した後はその位置で停止させる。基本的には、単結晶7の中心温度が600～700℃になる位置よりも100～300℃低温側にアフタヒータを設置することにより、実質的に600～700℃領域の温度勾配を小さくすることができる。

【0030】以上説明した各製造装置および製造方法を適用した場合の単結晶引き上げ速度について調査したところ、表1に示す結果が得られた。この表は、図8に示した従来の単結晶製造装置を用いた場合の引き上げ速度を1としている。

【0031】

【表1】

【図1】本発明の第1実施例における単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。

【図2】本発明の第2実施例における単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。

【図3】アフタクーラに使用する冷却水配管の説明図で、(a)は第1実施例、(b)は第2実施例、(c)は第3実施例、(d)は従来例を示す。

【図4】アフタクーラにおける冷却水流量と結晶長さとの関係の一例を示す図である。

【図5】本発明の第3実施例における単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。

【図6】本発明の第4実施例における単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。

【図7】本発明の第5実施例における単結晶製造装置の下部構造を示す模式的縦断面図である。

【図8】従来技術による単結晶製造装置の下部構造の一例を示す模式的縦断面図である。

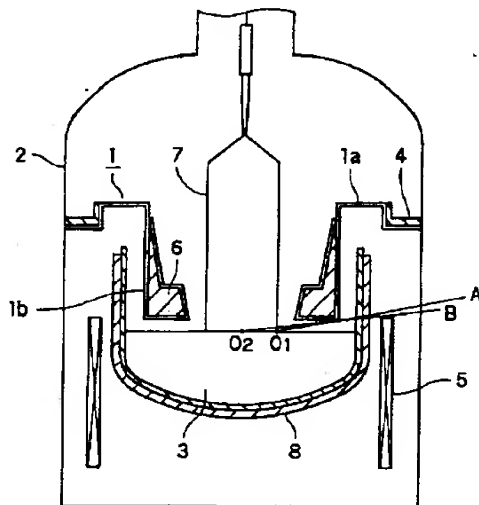
【符号の説明】

- 1, 10 熱遮蔽板
- 1a 環状リム
- 1b 断熱筒
- 3 融液
- 4, 6 断熱材
- 5 ヒータ

7 単結晶
8 るつぼ
11, 21, 31 アフタクーラ
12, 14 冷却水配管

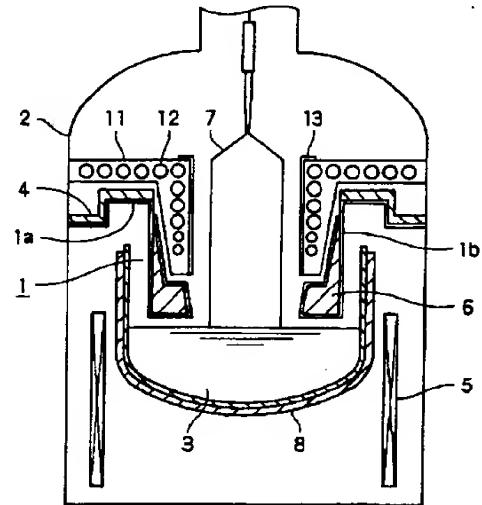
23 上側ヒータ
24 下側ヒータ
41 アフタヒータ

【図1】



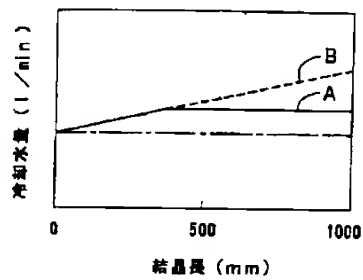
1: 熱伝導板
1a: U.A.
1b: 断熱板
2: チャンバ
3: 融液
4, 8: 断熱材
5: ヒータ
7: 単結晶
8: るつぼ

【図2】

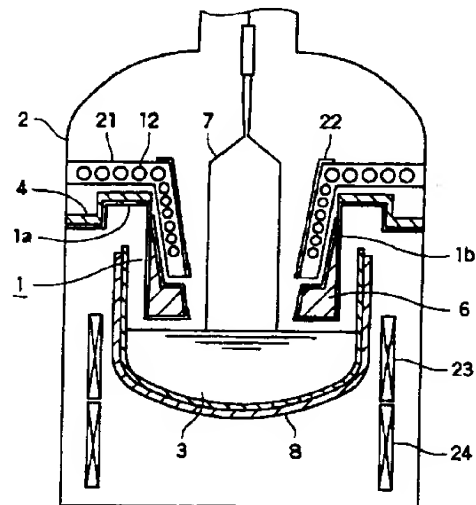


11: アフタクーラ
12: 冷却水配管
13: 巻線シート

【図4】

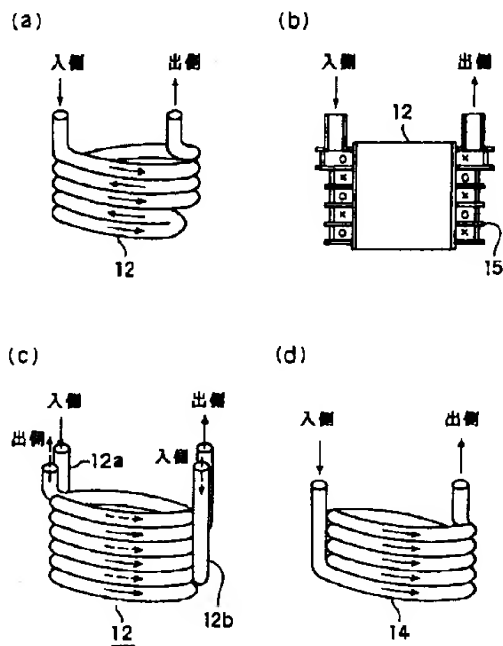


【図5】



21: アフタクーラ
22: 巻線シート
23: 上側ヒータ
24: 下側ヒータ

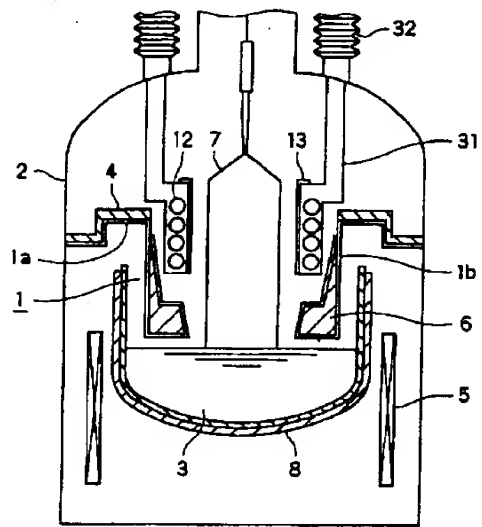
【図3】



12, 14 : 冷却水配管
12a, 12b : 管

15 : 仕切り板

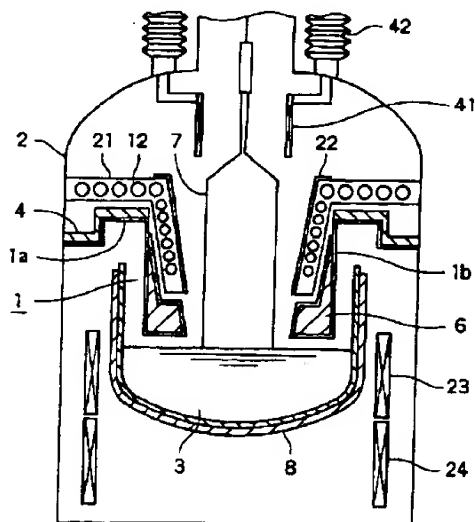
【図6】



31 : アフタクーラ

32 : 昇降機構

【図7】



41 : アフタヒータ

42 : 昇降機構

【図8】

